根植森林生态研究与试验示范，支撑东北森林生态保护恢复与可持续发展

朱教君[1,2*]　闫巧玲[1,2]　于立忠[1,2]　张金鑫[1,2]　杨　凯[1,2]　高　添[1,2]

1 中国科学院沈阳应用生态研究所 沈阳 110016

2 中国科学院清原森林生态系统观测研究站 沈阳 110016

摘要　由于长期破坏性干扰，次生林已成为森林资源主体。1998 年特大洪灾后，人们认识到天然林的重要性，国家先后实施了天然林保护工程和全面禁止天然林商业性采伐等保护措施；与此同时，原来以木材采伐为主业的林农则面临失业。在此背景下，如何保护与恢复现有次生林生态系统、合理利用现有森林资源，推动林区经济转型，向科研工作提出了新的需求。中科院清原森林生态系统观测研究站（简称“清原站”）自建站以来，根植于我国温带次生林生态系统，开展了水、土、气、生等生态要素的长期监测，森林生态学和森林培育学等基础研究，以及次生林生态系统保护、恢复和林下资源高效利用等应用研究；并通过试验示范与技术推广，为东北森林生态保护、恢复与可持续发展提供了科技支撑。取得的主要进展：（1）突破林分/林窗结构精准量化技术和方法，确定了基于林分垂直分层结构调控原理的次生林恢复和林下参培育技术；（2）明确了自然干扰过程及其生态学意义，提出人工模拟自然干扰（林窗）促进次生林生态系统恢复和林下中草药栽培利用技术方案；（3）揭示了次生林建群树种共存机制，并应用于次生林林窗更新和林下山野菜培育技术；（4）确定了次生林生态系统中落叶松人工林生产力维持的凋落物机制，提出生态系统功能提升和林下林蛙养殖存活率提高技术。上述研究成果不仅为我国生态安全建设与温带森林保护、恢复与资源高效利用提供了基础理论和技术支撑，也使得清原站成为温带森林生态系统研究成果转化基地和开展国内外合作研究的重要平台。

关键词　次生林生态系统，森林生态系统管理，功能提升，林下资源高效利用

DOI　10.16418/j.issn.1000-3045.2018.01.012

全世界正处于一个次生森林植被的时代[1]，次生林（secondary forest, second-growth forest）已成为森林资源的主体（全球占 60%，中国占 62%，我国东北地区占 72%）。对于我国东北次生林，由于其木材生产能力大幅下降，导致很多次生林被人工用材林取代，从而形成了次生林与人工林镶嵌分布的次生林生态系统。在当前我国

*通讯作者

资助项目：国家重点基础研究发展计划（“973”计划）项目（2012CB416900），科技部国家重点研发计划项目（2016YFC0500300），国家自然科学基金重点项目（31330016、30830085），中科院前沿科学重点研究项目（QYZDJ-SSW-DQC027），中科院“百人计划”项目

修改稿收到日期：2017年12月26日

实施天然林保护工程和全面禁止天然林商业性采伐的背景下，林区已基本完成了由以木材生产为主向提供生态服务功能的转变，进一步使林区依靠单一木材生产为主的经济陷入危机，并加剧了林农的生存压力。因此，如何提高占东北区域森林总面积70%以上的次生林生态系统生产、生态功能，破解森林生态保护、恢复与林区经济发展之间的矛盾，促进次生林生态系统的可持续发展，是次生林生态系统管理的关键问题。中科院清原森林生态系统观测研究站（简称“清原站”）作为以次生林生态系统为观测研究对象的野外台站，面向国家、区域对于东北森林生态保护、恢复与可持续发展的紧迫需求，根植森林生态研究与试验示范，为次生林生态系统保护、恢复与资源高效利用提供了重要理论和技术支撑，为中国乃至全球温带森林可持续发展作出了贡献，得到了各级政府及国内外同行的高度评价。

1 突破林分/林窗结构精准量化技术和方法，确定了基于林分垂直分层结构调控原理的次生林恢复和林下参培育技术

结构决定功能，林分/林窗结构是森林可持续经营的基础；然而，由于缺乏科学有效的结构量化方法，现有森林结构调控机理尚未完全清晰，直接限制了不同类型林分结构调控技术与进程，进而影响了森林的生产与生态功能发挥。为此，清原站科研团队突破了林分/林窗结构精准量化技术和方法并阐明了结构调控基本原理。

林分垂直结构与林分内的生物与非生物因子、凋落物分解、养分循环等生态过程和生物多样性等密切相关[2]。由于林分垂直结构测量的困难性，以往林分垂直结构测量通常采用简单的郁闭度估测方法粗略估计林冠的透光情况，因此，影响了林分结构精准调控技术实施。我们依据光在介质中的分布规律（Beer-Lambert定律），通过在林分内不同高度拍摄鱼眼镜头照片，提出了透光分层疏透度（OSP）的概念（图1）；根据光在均匀介质中衰减系数恒定的基本原理，从OSP分布模型中可计算衰减系数的变化规律（图2），并由此定量划分林分垂直层次[2]。除分层外，OSP已应用到林内主要环境因子（风、温度及粒子分布等）预测，并替代了传统林分结构（郁闭度）定性测量的做法，解决了林分结构垂直调控定量化测量的技术难题。

林窗是森林（尤其是次生林）生态系统中最普遍、最重要的小尺度干扰形式，是影响次生林更新的关键要素之一。林窗形成首先改变林窗内的环境因子，尤其是光环境，从而影响林下植被更新和次生林恢复。然而，林窗形成后的“立体结构（林窗大小、形状与边缘木高度）如何量化？”“内部的环境因子（尤其是光环境）如何变化？”“林窗大小范围如何界定？”等问题尚未明晰。为此，利用长期监测优势，清原站相关科研团队以次生林林窗为对象：① 应用单半球面影像一次性确定林窗大小（面积）和形状，所得结果与传统方法无显著差异[3]。② 应用双半球面影像法可一次性准确测定林窗

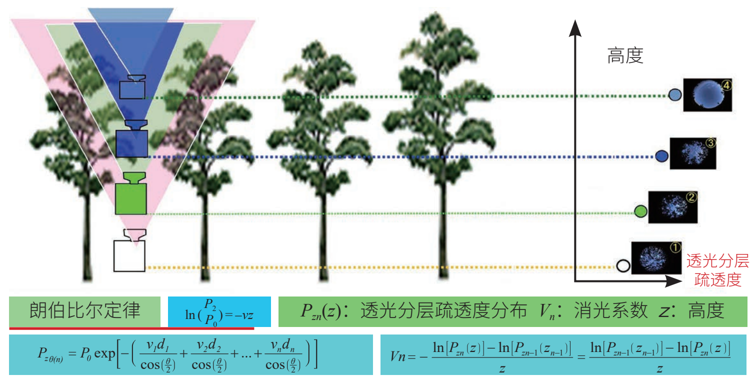


图1　透光分层疏透度确定方法示意图

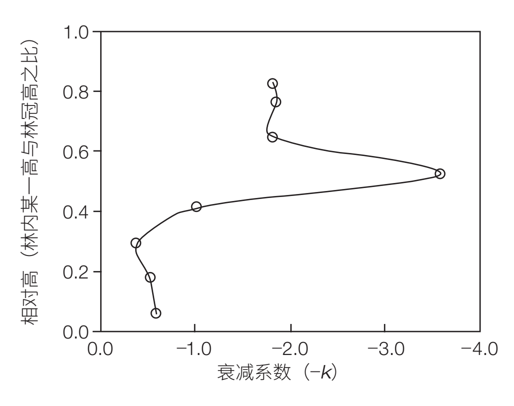


图2　透光分层疏透度衰减系数随高度分布图

立体结构——林窗大小、形状与边缘木高度（图3a）；与传统方法相比，双半球面影像法不受地形限制，不需要假设林冠边缘木同高，具有简单、精确等优点[4]。③ 以树木在生长季平均投影（光环境）的影响范围（树木的平均影长），作为确定林窗上、下限的主要依据（图3c），这是自林窗概念提出至今70余年，首次客观量化了林窗大小范围，研究结果为不同林窗研究之间比较和森林近自然经营提供量化指标[5]。

由于林窗光环境复杂的时空分布特征，直接采用光量子仪器测量林窗光环境异质性耗时费力且成本昂贵，而林窗光指数（Gap Light Index，GLI）作为评价林下光环境的最有效指标，其测量需要大量双半球面影像获得林窗坐标。为此，研究团队以林窗立体结构为基础，采用全天空照片（仅需要2张）的几何计算方法，快速计算出林窗内任意点林窗坐标，进而精准、快速获得林窗光指数（图3b）[6]。该方法应用到实际中，被同行专家评为近30年来对国际通用的林窗光指数最成功的改进，使林窗光环境研究取得突破性进展。

阔叶红松（*Pinus koraiensis*）林是东北地区的地带性顶极植物群落，次生林林下更新红松是快速恢复阔叶红松林的重要途径；但是，如何调控上层阔叶树的垂直结构是影响红松生长的关键。清原站科研团队基于透光分层疏透度（OSP）在林内分布规律，依据红松随生长所需要的光环境不断变化的特征（OSP从更新初期的0.20到生长至20年后的0.85），建立了不同生长阶段红松上方阔叶树冠层OSP与阔叶树胸径、密度的关系（图4），从而为促进红松成功更新与生长和阔叶红松林快速恢复提供科学参考。基于此，制定了林业经营技术方案，应用于当地林业生产。

人参（*Panax ginseng*）是一种药用价值极高的珍贵药材；林下种植人参已成为当前天保工程和全面禁止天然林商业采伐实施背景下林农致富的重要途径之一。但林下参在生长过程中对上方的光环境要求较高，已有的调控（仅依据1.6 m高度的郁闭度或光环境）不能满足林下参生长的要求，林下参苗保存率极低，严重影响林下参的种植效益。为此，清原站科研团队将透光分层疏透度（OSP）精准量化技术应用于林下参培育过程中，改变以往上层阔叶树的调控高度与精度，实现对林下参上方（0.5 m）OSP的准确量化，进而进行精准调控，大幅提高了林下参的成活率（图5）。该技术已经推广应用10 000 ha，取得较好的生态与经济效益。

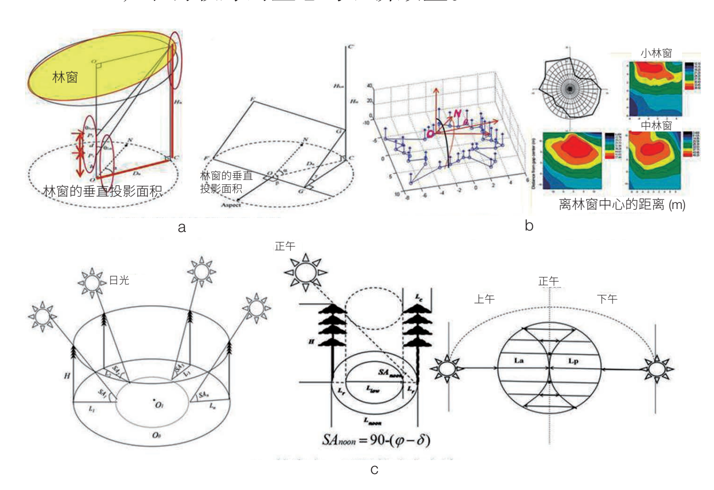


图3 林窗立体结构（a）、光指数（b）以及上、下限确定方法（c）示意图

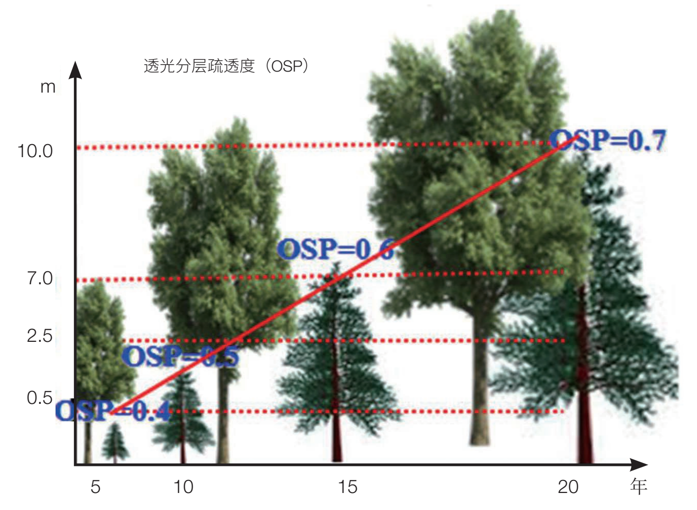


图4 林分结构调控技术在林下红松更新的应用



图5 林分结构调控技术在林下人参栽培的应用

2 明确了自然干扰过程及其生态学意义，提出人工模拟自然干扰（林窗）促进次生林生态系统恢复和林下中草药栽培利用技术方案

雪/风灾害等极端气候事件作为森林生态系统重要的自然干扰因子之一，不仅对林业生产和发展有着重大影响，同时对森林生态系统稳定也产生一定程度的影响，尤其是对经过干扰而形成的次生林生态系统，其影响更是不容忽视[7]。了解引发森林雪/风灾害的发生规律，对保护现有森林资源、指导林区的经营管理以及加强未来林分抵御自然灾害的能力，加速森林生态系统的正向演替具有重要意义。为此，清原站科研团队以 2003 年发生在东北次生林区（清原站）50 年一遇的雪/风干扰为契机，首次明确了次生林生态系统雪/风干扰成因、过程、影响因子及其与立地因子、林木及林分特征的关系（图 6）[8,9]。

鉴于干扰在次生林生态系统恢复、保护中的重点性，建立了基于环境因子分析的相对人为干扰度划分新方法，提出了森林干扰度的概念[1]，为人工调控林分结构提供了基础数据支撑。通过将典型次生林生态系统划分为 5 个干扰等级，阐明次生林生态系统植物多样性与干扰度的关系，表明目前人为干扰水平不会使乔木树种多样性降低，而可能使灌木层和草本层的植物多样性受到影响[9]。就目前的人为干扰强度而言，乔木层树种尚未达到或接近中等干扰水平；灌木层树种则正处于中等干扰水平，多样性均比原始林要高；对于草本层植物，已超过中等干扰水平，其多样性比原始林低[9]。

自然干扰或人为干扰形成的林窗是森林演替的驱动力；但是，由于自然干扰的偶发性及不可控性，由此形成的林窗特征（林窗大小、林窗空隙率、林窗密度）和林窗空间分布格局存在不确定性，不利于评估干扰过后次生林生态系统演替状态与制定人工模拟自然干扰形成林窗的次生林恢复措施。为此，清原站研究团队遥感监测了站区 1 350 ha 典型次生林生态系统经受两种自然干扰（雪/风灾害和洪水）发生前后的林窗分布格局和林窗特征，揭示了自然干扰类型对温带典型次生林生态系统林窗形成与格局的影响规律（图 7）；发现了雪/风灾害干扰主要驱动中林窗形成，增加了次生林生态系统的空间





图 6　辽东山区次生林生态系统雪 / 风灾害对树木的影响

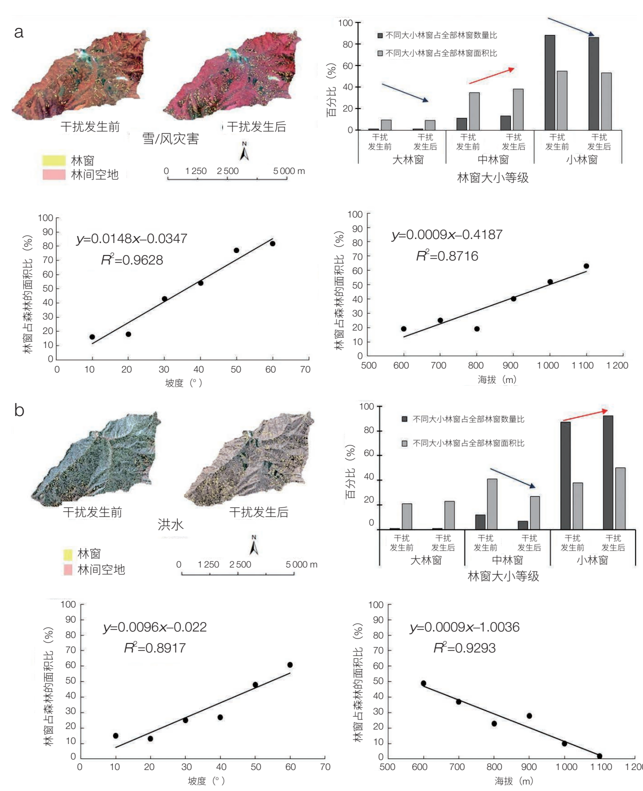


图 7　清原站站区次生林生态系统雪 / 风灾害（a）和洪水（b）干扰后形成的林窗特征

异质性，因此干扰过后森林的经营应着重于应用林窗促进森林的更新与正向演替；而洪水干扰后形成大量林间空地，引起次生林生态系统的逆向演替，森林的经营应着重于通过人为措施加速裸地的恢复与森林的重建[10]。与此同时，清原站科研团队通过对2004年人工模拟自然产生的大、中、小林窗的连续监测，发现了小林窗在形成后7—8年即通过树冠侧方生长完成闭合，而中、大林窗仅通过树冠侧方生长不能完成闭合，需要林窗内更新填充（图8）；表明对于模拟林窗实现树木更新，小林窗没有实际意义[11]。

林窗是森林生态系统演替的重要驱动力，林窗更新则是森林生态系统更新的主要机制。林窗虽然普遍存在于温带次生林内，但多是自然干扰形成的林窗，不能指导生产实践。清原站科研团队基于自然干扰过程的研究成果，建立了林窗特征（林窗直径 *D*）与林窗边缘木高度（*H*）关系；明确了林窗数量以林窗总面积不超过林分面积10%的限制；确定了有利于种子进入林窗、种子萌发和幼苗存活、生长的最佳林窗面积，完善林窗更新技术体系（图9）；该方法实现了小干扰、原生境、逐渐改善物种多样性、提高水源涵养功能的效果，有力地促进了次生林恢复，被广泛应用于地方生产实践。

我国东北林区蕴藏着丰富的中草药资源，但随着对野生资源无序、野蛮地掠夺式滥采乱挖，野生中草药资源日趋枯竭。为了利用林下良好的环境空间，清原站科研人员模拟野生环境，在自然干扰形成的大林窗下种植五味子（*Schisandra chinensis*）（人工搭设藤架），在小林窗内栽植细辛（*Asarum sieboldii*）、刺五加（*Acanthopanax senticosus*）、党参（*Codonopsis pilosula*）等；同时应用研发的解除/避免低温霜冻危害技术[12]，在早春季节为细辛、人参等中草药开展覆盖凋落物或松土等措施，以解除低温霜冻危害，提高苗木成活率，为该区域的林下中草药资源开发提供技术支撑。

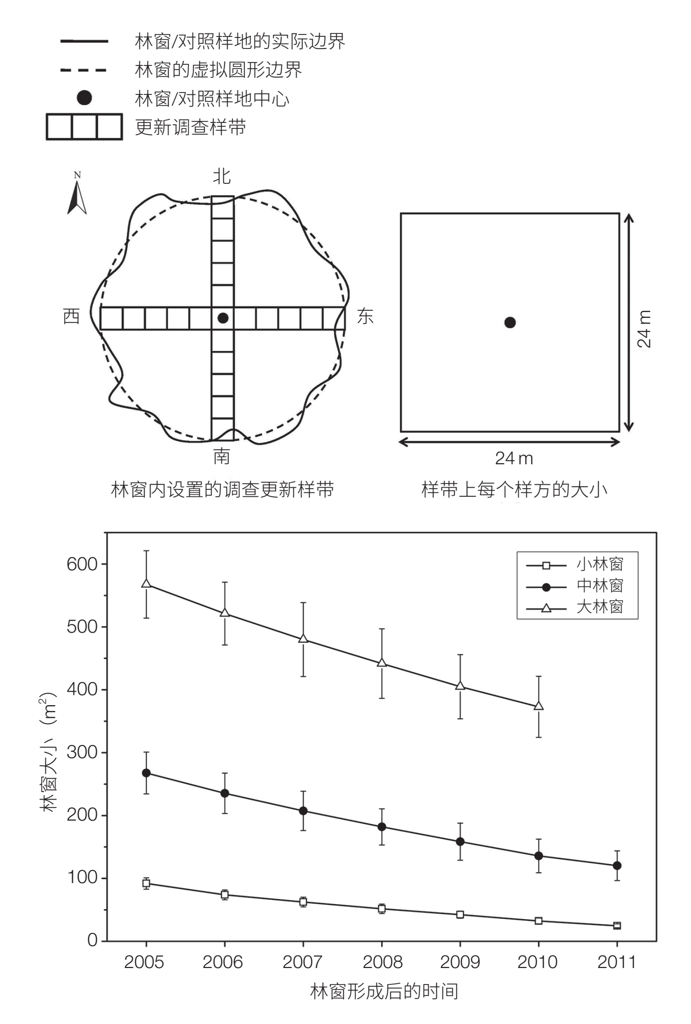
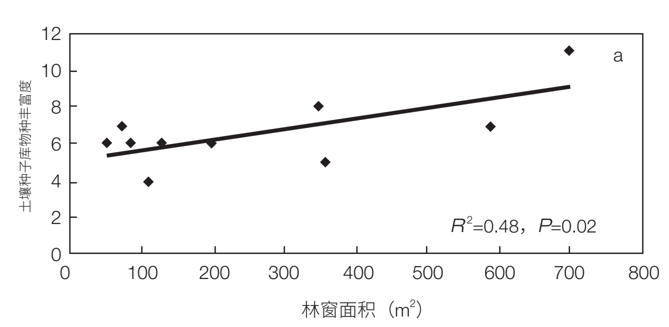


图8　清原站站区人工林窗闭合特征



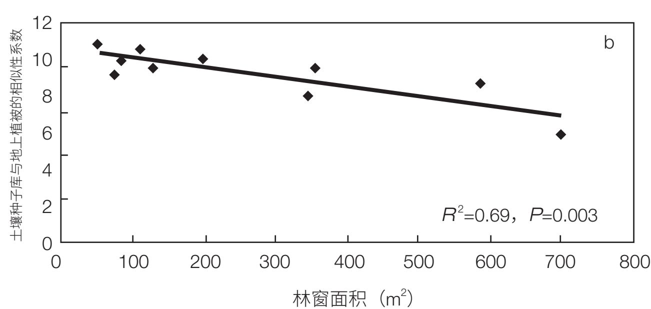


图9　林窗面积与土壤种子库物种丰富度（a）、土壤种子库与地上植被的相似性（b）关系

3 系统揭示了次生林建群树种共存机制，建立了促进次生林生态系统正向演替的结构调控途径及林下山野菜复合经营技术

林窗干扰对森林生态系统物种天然更新影响的研究正在成为生态学和森林经营管理研究领域中的一个非常活跃的领域。一般认为，成功的森林种子更新必须具备充足而有活力的种源、完整的种子库、种子萌发并形成幼苗库、幼苗存活并形成幼树。上述各个环节中任何一个出现问题都会使天然更新发生障碍[2]。但是，目前林窗干扰下的森林天然更新研究主要集中在接近更新成功的幼树阶段，很少涉及另一重要的、对环境条件敏感的更新过程（“种子雨—土壤种子库—种子萌发—幼苗库”过程）和物种共存机制[13]，这无疑影响了对林窗天然更新潜力和森林演替机制的深刻认识。为此，在林窗结构研究得以突破的基础上，研究团队揭示了林窗内种子—幼苗阶段更新规律：① 首次提出了温带次生林生态系统适合种子入侵和种子库内的种子萌发形成幼苗的最佳林窗面积（150—500 m²）[14]（图 9）；在林窗幼苗出现的影响机制方面，发现了温带次生林生态系统建群树种蒙古栎和色木槭等是“林窗依赖种”，即林窗形成能促进上述树种种子形成幼苗，其作用机制是由于林窗内光照增加，打破了种子形成幼苗的土壤温度这一主要限制因子。② 从生理生态角度上揭示了东北原始阔叶红松林中两个最主要的建群树种（红松和蒙古栎）共存的光调控机制。光是调节种间共存与否的关键，红松在低光条件下具有存活优势，蒙古栎在高光条件下则具有生长优势；红松幼苗非结构性碳水化合物集中分布于针叶，且叶片的非结构性碳水化合物浓度与其存活率相关性最大，表明红松会在早春阔叶树种展叶前尽快利用充足的光资源启动生长；而蒙古栎幼苗非结构性碳水化合物集中分配到根，且根部非结构性碳水化合物浓度与其存活率相关性最大，该分配模式有利于其在极低光环境下以萌蘖更新方式来繁殖（图 10）[15]。

由于长期的不合理开发利用，东北地区的原始阔叶红松林逐渐退化演替为现有的大面积次生林，现多采取次生林冠下栽植红松的森林经营措施来加快恢复阔叶红松林资源。但在培育过程中经常出现上层抚育不及时影响红松生长或抚育强度过大形成红松纯林等问题。为此，清原站科研团队基于红松与蒙古栎等阔叶树共存机制的研究成果，提出确保长期混交状态的次生林恢复技术体系，包括保留木标准、抚育时间、抚育强度、不同时期上层木及红松的保留密度等，并指导制定《天然次生林人工诱导阔叶红松林技术》地方标准，为促进次生林生态系统正向演替提出了科学的结构调控途径。

研究还发现落叶松与龙牙楤木（*Aralia elata*）（一种山野菜）具有较好的共存关系，在培育落叶松大径材人工林的同时，利用林下充足的光环境，以及林窗效应，开展林菜复合经营。上层落叶松（保留密度为 150 株/ha）与林下栽植龙牙楤木（7 500 株/ha）的复合经营模式，不仅促进落叶松生长，改善林分土壤状况；而且龙牙楤木经济效益非常显著，3 年定产后，年产量可达 200—300 kg/ha。该模式不仅有效提高林地使用率，还充分利用落叶松与龙牙楤木的共存机制，实现林-菜复合

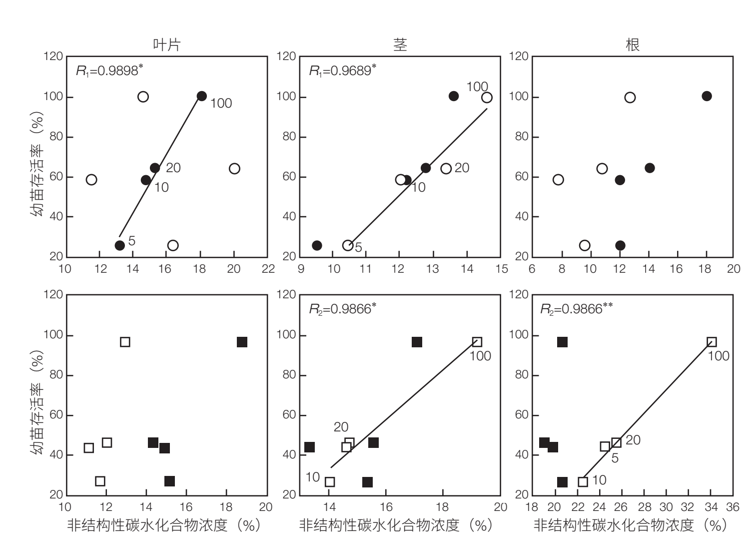


图 10 红松和蒙古栎幼苗非结构性碳水化合物（NSC）与幼苗存活率关系

经营，促进林农致富，达到了以林为主、长短结合的经营效果。

4 揭示次生林生态系统中落叶松人工林生产力维持的凋落物机制，提出基于凋落物保护的次生林生态系统功能提升和林蛙养殖存活率/保存率提高技术

针对次生林生态系统中的落叶松人工林地力衰退（土壤微生物量碳降低41%，酶活性降低20%—50%）、水质酸化（地表径流pH值<5.2），生态服务功能下降等问题[16,17]，通过对比落叶松人工林和次生林的土壤微生物量、有效氮磷及有机质数量及质量变化特征，揭示了落叶松人工林地力衰退的凋落物机制[18,19]，明确了落叶松人工林土壤质量下降的原因主要是树种组成单一、凋落物分解缓慢，并确定导致落叶松凋落物分解速率低的关键要素——凋落物高的木质素/氮、微生物分解者所产生的酶活性较低[20,21]。基于这一重要研究结果，科研团队依据凋落物化学性质，布设次生林生态系统主要树种凋落物袋共5 040袋，开展了凋落物分解研究（图11），研究发现：次生林主要阔叶树种凋落物分解率为落叶松凋落物的1.5—1.9倍；次生林主要阔叶树种的氮、磷养分释放率分别是落叶松凋落物的2.3—3.4倍和1.2—1.4倍。据此，提出引进阔叶树、保持凋落物等土壤肥力维持技术。通过阔叶树引入，逐步将人工林诱导成为针阔混交林，提高17%—28%土壤微生物量碳和10%—31%酶活性，形成了通过调控凋落物组成提升人工纯林地力、维持落叶松人工林生产力的新思路[22,23]。



图11　次生林生态系统主要树种凋落物分解试验样地

建立人工纯林诱导为混交林的结构调控技术，该技术通过强度抚育、引进阔叶树[24-26]、形成林窗[27]等方式，达到促进阔叶树种在人工林内的更新能力[28]、改善凋落物组成、维持土壤肥力、提升水源涵养功能等效果[29]。提出了促进阔叶树种在落叶松人工林内天然更新的最优栽植格局——“上（次生林）下（人工林）模式”，为人工纯林的结构优化与功能提升提供范式[30,31]（图12）。人工林诱导形成的针阔混交林基本形成复层结构，除提升地力外，水源涵养能力提高5%—10%、地表径流pH值由5.2提升到6.2[32]。

森林凋落物及其形成的森林腐殖质是森林土壤的重要组成部分，在森林涵养水源、减缓地表径流、维持土壤肥力、保持生物多样性等方面具有重要作用。森林凋落物可大量出口赚取外汇，驱使部分人群对其进行无度地获取，从而对森林生态系统的稳定和生态服务功能的发挥造成极大的危害。为此，清原站站长朱教君研究员针对森林凋落物利用和管理现状，提出了《关于控制我国森林凋落物和泥炭/草炭出口的建议》咨询报告。该报告被国务院办公厅采纳，并由国家林业局作为加强森林资源管理的法规文件下发执行（图13），为保护凋落物资源、促进森林可持续经营提供了法律保障（图14和15）。

中国林蛙（*Rana chensinensis*）是一种珍贵的两栖类动物，具有很高经济价值，近年来，林蛙养殖已经成为东北林区天保工程以后林农增收致富的重要途径。但在养殖过程中，在蝌蚪变态期存在幼蛙死亡率高、幼蛙上岸后存活率低等问题。基于凋落物保护技术，清原站科研团队研发了林蛙（幼蛙变态期）凋落物管理技术，增加变态期凋落物覆盖数量，修建由凋落物组成的“蛙路”，从而确保幼蛙变态期的生存环境与食物来源，提高幼蛙成活率30%—50%。该技术已在东北林区多地推广应用，取得较好的经济效益。

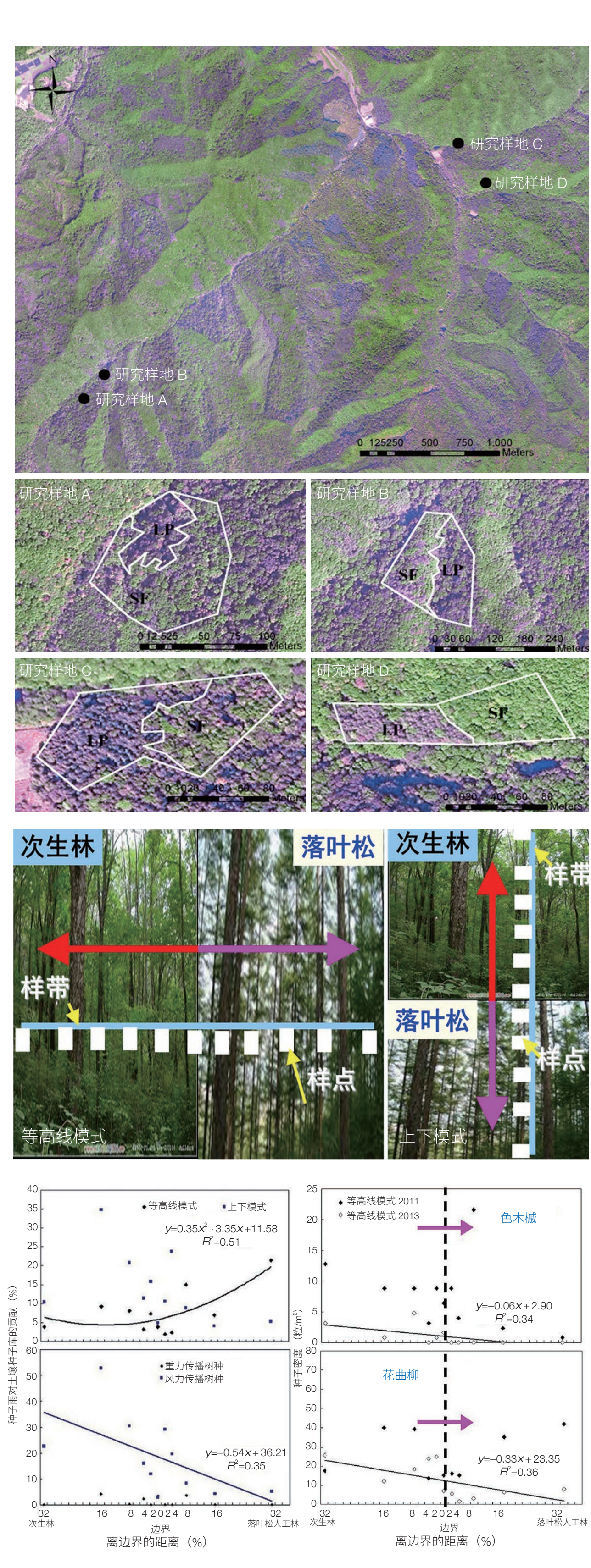


图 12　落叶松人工林（LP）- 次生林（SF）空间结构对阔叶树种早期更新过程的影响

5 结语

建站 15 年来，清原站始终围绕国家生态安全建设和温带森林可持续发展的重大科技需求，结合应用生态学学科发展的需要，在次生林生态系统恢复与林下资源利用等方面取得了一大批原创性成果。先后获得国家科技进步奖二等奖（2008 年“北方防护林经营理论、技术与应用”）、辽宁省科技进步奖一等奖（2013 年“东北次生林生态系统经营基础、技术与应用”）、辽宁省自然科学奖一等奖（2016 年“典型防护林衰退与恢复机制研究”）、中科院科技促进发展奖（2016 年“辽东山区森林资源保育与林下资源利用技术研究及示范”）等多项国家和省部级奖励（图 16）；获得国际林联（IUFRO）科学成就奖等个人荣誉奖20余项。培养了国家重点基础


国家林业局文件

商务部、海关总署

图 13　清原站相关研究促成国家林业局文件

图 14　清原站相关研究促成海关总署文件


法制网　2013年12月12日　星期四　资深律师为您提供权威免费

您的位置：　法制网首页>>法制网首页栏目文章图片

森林凋落物腐叶出口也违法　大连海关截获190吨

发布时间：2012-03-28 19:37:38　【我要纠错】　【字号 大 默认 小】【打印】【关闭】

法制网北京3月28日讯 记者蔡岩红 记者今天从大连海关获悉，该关日前在出口货运渠道查获一批国家禁止出口货物——腐叶。该批货物伪报品名为腐殖酸，共计8个集装箱，总重190余吨。

据了解，腐叶等森林凋落物是森林土壤的重要组成部分，在涵养森林水源、减缓地表径流、维持土壤肥力、保持生物多样性方面具有重要作用，同时也是制造腐叶土的重要原料，在森林资源相对匮乏的国家，腐叶因用途广泛颇受亲睐。近年来，我国加大对森林资源保护力度，国家林业局于2008年9月发布通知，将森林凋落物纳入森林资源保护范畴，对其实施依法监管，2009年1月1日，海关总署将其列入我国第五批《禁止出口货物目录》。

来源：法制网　（责任编辑：于澄）

图 15　清原站研究为保护凋落物资源、促进森林可持续经营提供法律保障的具体案例




图 16　获中国科学院科技促进发展奖和辽宁省科技进步奖证书

研究发展计划（“973”计划）项目首席科学家1人，国家重点研发计划项目首席科学家1人，国家杰出青年基金获得者1人，国家优秀青年基金获得者2人，中科院“百人计划”入选者2人，中科院青促会成员4人，中科院特聘研究员4人，“国家百千万人才工程”入选者1人，获国务院政府特殊津贴1人等优秀人才。搭建次生林生态系统科研样地（四大类）、次生林生态系统塔群LiDAR监测平台、森林野外增温平台等重大科研平台。2014年进入CERN（中国生态系统研究网络）后，根据“生态文明”建设新需要，重新梳理清原站总体定位，凝练清原站未来研究方向和主要任务。我们坚信，清原站将“立足东北，面向全国”，开展长期定位监测和试验、示范研究，为次生林生态系统可持续经营提供科技支撑与决策依据，为发展森林生态学和国家生态文明建设继续做出贡献。

参考文献

1 朱教君，刘世荣．次生林概念与生态干扰度．生态学杂志，2007, 26(7): 1085-1093.

2 Zhu J J, Matsuzaki T, Gonda Y. Optical stratification porosity as a measure of vertical canopy structure in a Japanese pine coastal forest. Forest Ecology and Management, 2003, 173(1-3): 89-104.

3 Hu L L, Gong Z W, Li J S, et al. Estimation of canopy gap size and gap shape using a hemispherical photograph. Trees-Structure and Function, 2009, 23(5): 1101-1108.

4 Hu L L, Zhu J J. Determination of canopy gap tridimensional profiles using two hemispherical photographs. Agricultural and Forest Meteorology, 2009, 149(5): 862-872.

5 Zhu J J, Zhang G Q, Wang G G, et al. On the size of forest gaps: can their lower and upper limits be objectively defined? Agriculture and Forest Meteorology, 2015, 213(2): 64-76.

6 Hu L L, Zhu J J. Improving gap light index (GLI) to quickly calculate gap coordinates. Canadian Journal of Forest Research, 2008, 38(9): 2337-2347.

7 Zhu J J, Li X F, Liu Z G, et al. Factors affecting the snow/wind induced damage of a montane secondary forest in Northeastern China. Silva Fennica, 2006, 40(1): 37-51.

8 Li X F, Jin L, Zhu J J, et al. Response of species and stand types to snow/wind damage in a temperate secondary forest, Northeast China. Journal of Forestry Research, 2017, https://doi.org/10.1007/s11676-017-0446-z.

9 Zhu J J, Mao Z H, Hu L L, et al. Plant diversity of secondary forests in response to anthropogenic disturbance levels in montane regions of northeastern China. Journal of Forest Research, 2007, 12(6): 403-416.

10 Zhu C Y, Zhu J J, Zheng X, et al. Comparison of gap formation and distribution pattern induced by wind/snowstorm and flood in a temperate secondary forest ecosystem, Northeast China. Silva Fennica, 2017, 51: 7693.

11 Lu D L, Zhu J J, Sun Y R, et al. Gap closure process by lateral extension growth of canopy trees and its effect on woody species regeneration in a temperate secondary forest, Northeast China. Silva Fennica, 2015, 49(5): 1310.

12 朱教君，刘世荣．森林干扰生态研究．北京：中国林业出版社，2007.

13 Zhu J J, Matsuzaki T, Li F Q, et al. Effect of gap size created by thinning on seedling emergency, survival and establishment in a coastal pine forest. Forest Ecology and Management, 2003, 182(1-3): 339-354.

14 Yan Q L, Zhu J J, Zhang J P, et al. Spatial distribution pattern of soil seed bank in canopy gaps of various sizes in temperate

secondary forests, Northeast China. Plant and Soil, 2010, 329(1-2): 469-480.

15 Zhang M, Zhu J J, Li M C, et al. Different light acclimation strategies of two coexisting tree species seedlings in a temperate secondary forest along five natural light levels. Forest Ecology and Management, 2013, 306(6): 234-242.

16 Yang K, Shi W, Zhu J J. The impact of secondary forests conversion into larch plantations on soil chemical and microbiological properties. Plant and Soil, 2013, 368(1-2): 535-546.

17 Gao T, Zhu J J, Zheng X, et al. Timber production assessment of a larch plantation: An integrated framework with field-based inventory, remote sensing data and forest management history. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2016, 52: 155-165.

18 Yang K, Zhu J J, Yan Q L, et al. Changes in soil P chemistry as affected by conversion of natural secondary forests to larch plantations. Forest Ecology and Management, 2010, 260(3): 422-428.

19 Yang K, Zhu J J. The effects of N and P additions on soil microbial properties in the paired stands of temperate secondary forests and adjacent larch plantations in Northeast China. Soil Biology & Biochemistry, 2015, 90: 80-86.

20 Yan T, Lü X T, Zhu J J, et al. Changes in nitrogen and phosphorus cycling suggest a transition to phosphorus limitation with larch plantation stand development. Plant and Soil, 2017, https://doi.org/10.1007/s11104-017-3473-9.

21 Yan T, Zhu J J, Yang K, et al. Nutrient removal under different harvesting scenarios for larch plantations in northeast China: Implications for nutrient conservation and management. Forest Ecology and Management, 2017, 400: 150-158.

22 Yang K, Zhu J J. Impact of tree litter decomposition on soil biochemical properties obtained from a temperate secondary forest in Northeast China. Journal of Soils and Sediments, 2015, 15(1): 13-23.

23 Zhang W W, Lv Z T, Yang K, et al. Impacts of conversion from secondary forests to larch plantations on the structure and function of microbial communities. Applied Soil Ecology, 2017, 111: 73–83.

24 Gang Q, Yan Q L, Zhu J J. Effects of thinning on early seed regeneration of two broadleaved tree species in larch plantations: implication for inducing pure larch plantations into larch-broadleaved mixed forests. Forestry, 2015, 88(5): 573-585.

25 Yan Q L, Zhu J J, Gang Q, et al. Comparison of spatial distribution patterns of seed rain between larch plantations and adjacent secondary forests in Northeast China. Forest Science, 2016, 62: 652-662.

26 Lu D L, Wang G G, Zhang J X, et al. Convert larch plantation to mixed forest: Effects of canopy treatment on the survival and growth of planted seedlings. Forest Ecology and Management, 2018, 409: 19-28.

27 Wang J, Yan Q L, Yan T, et al. Rodent-mediated seed dispersal of *Juglans mandshurica* regulated by gap size and within-gap position in larch plantations: implication for converting pure larch plantations into larch-walnut mixed forests. Forest Ecology and Management, 2017, 404: 205-213.

28 Zhu J J, Liu Z G, Wang H H, et al. Effects of site preparations on emergence and early establishment of *Larix olgensis* in montane regions of northeastern China. New Forest, 2008, 36(3): 247-260.

29 Shang G D, Zhu J J, Gao T, et al. Using multi-source remote sensing data to classify Larch plantations in Northeast China and support the development of multi-purpose silviculture. Journal of Forestry Research, 2017, DOI: 10.1007/s11676-017-0518-0.

30 Yan Q L, Zhu J J, Gang Q. Comparison of spatial patterns of soil seed banks between larch plantations and adjacent secondary forests in Northeast China: implication for spatial distribution mode of larch plantations. Trees-Structure and Function, 2013, 27(6): 1747-1754.

31 Yan Q L, Gang Q, Zhu J J, et al. Variation in survival and growth strategies for seedlings of broadleaved tree species in response to

thinning of larch plantations: implication for converting pure larch plantations into larch-broadleaved mixed forests. Environmental and Experimental Botany, 2016, 129: 108-117.

32 Wang R Z, Xu T L, Yu L Z, et al. Effects of land use types on surface water quality across an anthropogenic disturbance gradient in the upper reach of the Hun River, Northeast China. Environmental Monitoring and Assessment, 2013, 185(5): 4141-4151.

Support Ecological Restoration and Sustainable Management of Forests in Northeast China Based on Research of Forest Ecology and Demonstrations

ZHU Jiaojun[1,2*] YAN Qiaoling[1,2] YU Lizhong[1,2] ZHANG Jinxin[1,2] YANG Kai[1,2] GAO Tian[1,2]

(1 Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China;

2 Qingyuan Forest CERN, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China)

Abstract The secondary forest or second-growth forest, originated from natural regeneration after the destructive disturbances of original forests induced by human beings (e.g., long-term and large-scale logging) or by natural extreme events, has become the major forest resource worldwide. Since the flood disasters happened in the Yangtze River and Nen River in 1998, the Chinese government began to realize the importance of natural forests and started to implement the Natural Forest Conservation Project. A more rigorous protection measure of comprehensive ban on commercial logging in natural forests was implemented in 2016. As a result, the forest farmers, whose main business was timber harvesting, are facing unemployment. In such context, the new requirements for scientific research work have been put forward to indicate how to protect and restore the existing secondary forest ecosystem, and how to make rational use of existing forest resources and promote the economic transformation in forest regions. Since its establishment in 2003, Qingyuan Forest CERN (Qingyuan Forest) of Chinese Academy of Sciences has been conducting the long-term monitoring of the ecological elements (including water, soil, atmosphere, and biotic factors), the basic researches on forest ecology and silviculture, as well as the applied researches on the conservation and restoration of the temperate secondary forest ecosystem and efficient utilization of non-wood resources by experimental demonstration and technology promotion. All of these important progresses have provided scientific and technological support for the ecological conservation, restoration, and sustainable development of forests in Northeast China. Significant research achievements include the precision quantification technology/method of forest stand/gap structure, and the development of the technologies for the restoration of secondary forests and the cultivation of *Panax ginseng* under forest canopy based on the regulation principle of vertically stratified structure of forest stands, the clarification of the natural disturbance processes and its ecological significance, and the development of the techniques for promoting the restoration of secondary forest ecosystems and cultivation and utilization of Chinese herbal medicine under forest canopy by simulating natural disturbance (e.g., forming forest gaps). The researchers in Qingyuan Forest also revealed the coexistence mechanism of dominant tree species in secondary forests and applied it to the techniques of promoting forest gap regeneration and cultivation of wild vegetables under forest canopy. They also indicated the mechanism of forest litter for maintaining productivity of larch plantations in the secondary forest ecosystem, and developed measures for improving water conservation function of the forest ecosystem, and increased the survival rate of *Rana chensinensis* breeding under the forest canopy. The above progresses have provided the basic theory and technical support for ecological security construction and protection, restoration of resource capacity and efficient utilization of resources in temperate forests. These research and extension activities have made Qingyuan Forest an important platform to carry out the cooperative researches at home and abroad and a center for generating and transferring scientific knowledge

* Corresponding author

for forest restoration and sustainable management in temperate forest ecosystems.

Keywords secondary forest ecosystem, forest ecosystem management, functional promotion, efficient utilization of non-wood resources



朱教君 中科院清原森林生态系统观测研究站站长、中科院沈阳应用生态研究所副所长、研究员、博士生导师。主要从事森林生态与经营、防护林工程研究。现为中国生态学会理事。中科院“百人计划”入选者，国家杰出青年科学基金获得者，“973”计划项目首席科学家。第一/通讯作者发表研究论文180余篇，其中，SCI论文80余篇；出版专著5部；授权/受理专利10余项；撰写3份咨询报告被中共中央办公厅采用；1份咨询报告被国务院办公厅采用，并得到温家宝总理的亲笔批示。作为第一完成人获得国家科技进步奖二等奖、中科院科技促进发展奖、辽宁省科技进步奖一等奖、辽宁省自然科学奖一等奖等科技成果奖10余项；获得国际林联科学成就奖等个人奖项20余项。E-mail: jiaojunzhu@iae.ac.cn

ZHU Jiaojun Director of Qingyuan Forest CERN of Chinese Academy of Sciences (CAS), and Deputy Director and Professor of Institute of Applied Ecology, CAS. His research interests include forest ecology and management and the science of protective forest. Dr. Zhu is a director of Ecological Society of China. He was funded by the One-hundred Talent Program of CAS and the National Science Fund for Distinguished Young Scholars. He was a project leader and a principal investigator (PI) of the National Basic Research Program of China (973 Program). He has published more than 180 peer reviewed papers (including more than 80 international peer-reviewed papers indexed by SCI) and 5 monographs. He received or applied more than 10 patents. His three consultation reports had been adopted by the General Office of the Communist Party of China. His other consultation report had been adopted by the General Office of the State Council of China, and had been approved by the Prime Minister Wen Jiabao. As the first accomplisher, he was awarded more than 10 achievement awards in Science and Technology, including Second-Class Prize of State Science and Technology Advancement, Science &Technology for Development Award of CAS, First-Class Progress Prize of Science and Technology in Liaoning Province, and First-Class Prize of Natural Science in Liaoning Province. He also won more than 20 personal honors, including the IUFRO Scientific Achievement Award. E-mail: jiaojunzhu@iae.ac.cn